

Aplicação do modelo de crescimento florestal 3PG a povoamentos de Eucalipto na região centro de Portugal

¹Alexandra Amaral, ¹Raúl Salas-González, ¹Fernando Páscoa, ²Margarida Tomé ²José Tomé, e ²Paula Soares

¹Escola Superior Agrária de Coimbra, Depto. de Engenharia Florestal, Bencanta, 3040-316 COIMBRA.

²Instituto Superior de Agronomia, Depto. de Engenharia Florestal, Tapada da Ajuda, 1349-017 LISBOA

Resumo. Diversos esforços têm sido realizados na modelação do crescimento de *Eucalyptus globulus* em Portugal, pretendendo-se essencialmente que os modelos desenvolvidos sirvam como ferramentas de decisão no planeamento e gestão florestal. Os modelos mecanísticos, baseados em processos fisiológicos e em variáveis ambientais têm como mais valia a possibilidade de prever as consequências no crescimento florestal devido a alterações climáticas, o potencial produtivo de locais nunca arborizados, o crescimento de povoamentos para os quais não existem medições, os efeitos de práticas de gestão, de pragas e/ou doenças, sendo portanto, este tipo de modelos um instrumento imprescindível para uma gestão florestal cada vez mais exigente.

Os modelos de base fisiológica requerem um grande número de parâmetros iniciais difíceis de obter o que torna a sua aplicação pouco prática. No presente trabalho é apresentada a aplicação de um modelo híbrido constituído pelo modelo de base fisiológica 3PG, modelo que requer um número de parâmetros mais restrito e fáceis de obter, adaptado com o modelo Globulus 2.1. O estudo foi realizado em povoamentos de *E. globulus* em duas bacias hidrográficas na Serra de Caramulo, Portugal.

Neste trabalho é apresentada a calibração do modelo para Portugal e o tratamento estatístico dos resultados. Os primeiros resultados evidenciam um bom comportamento geral deste modelo híbrido, no que diz respeito a sua capacidade preditiva de volume e biomassa, em qualquer um dos seus modos de simulação.

Introdução

No âmbito do projecto “Avaliação dos Impactes das alterações climáticas sobre os recursos hídricos e a fixação de CO₂ por povoamentos florestais de crescimento rápido em Portugal” e no seguimento de outros projectos levados a cabo sobre o efeito das alterações climáticas na disponibilidade de água em ecossistemas mediterrâneos, a modelação da produtividade de *Eucalyptus globulus* em resposta a factores climáticos e estacionais, a influência da disponibilidade em água e nutrientes na produtividade em biomassa total e sustentabilidade de plantações de *Eucalyptus globulus*, entre outros, torna-se interessante o aprofundar de conhecimentos sobre a influência das alterações climáticas sobre os recursos hídricos e a fixação de CO₂ por povoamentos florestais de rápido crescimento.

Efectivamente estudos recentes revelam que o impacte das alterações climáticas sobre a evapotranspiração das florestas portuguesas e sobre os recursos hídricos poderá ser importante, nomeadamente se se verificarem os cenários mais recentes quer de emissões, quer de circulação geral da atmosfera, que se traduzirão por uma diminuição da quantidade de precipitação no sul da Europa (Parry, 2000). Além dos recursos hídricos é previsível que várias espécies entrem em stress hídrico (Coelho *et al.* 2001), provocando alterações no crescimento dos povoamentos e na decomposição da manta morta, no seu consumo de água e na fixação do CO₂ atmosférico, o que pode alterar substancialmente os cálculos dos sorvedouros, essencial para contrabalançar as emissões e cumprir o protocolo de Kyoto.

Por outro lado, os processos hidrológicos em solos e vertentes sob povoamentos de crescimento rápido é ainda pouco conhecido, sendo fundamental para a compreensão dos fenómenos hidrológicos e para melhor planejar e gerir este recurso essencial.

Para além do estudo da humidade do solo, dos processos hidrológicos nas vertentes, da acumulação e decomposição da manta morta e do escoamento e evapotranspiração, será feito um inventário florestal das quatro bacias hidrográficas que constituirão a área de estudo.

O propósito deste estudo é obter dados dendrométricos através de um inventário florestal que possam servir como valores iniciais para simular o crescimento de *Eucalyptus globulus* nas condições ambientais destas bacias.

Assim os dados obtidos do inventário florestal foram projectados com o modelo empírico Globulus 2.1, o modelo de crescimento para eucalipto de referência em Portugal, que será utilizado para estimar a produtividade dos povoamentos existentes nas bacias. Será analisada a relação entre a produtividade e o uso da água. Serão ainda realizadas extrapolações a nível nacional, utilizando como “input” os dados do inventário florestal nacional.

Âmbito e Objectivos

Nunca como agora a necessidade de informação se tornou tão premente. Os modelos de crescimento florestal empíricos, amplamente desenvolvidos e utilizados em todo mundo, têm por base a descrição estatística de um fenómeno passado. A partir dos dados recolhidos e por meio de regressão, descreve-se estatisticamente o fenómeno, projectando-o segundo a mesma tendência. No entanto, o desenvolvimento tecnológico e o crescente conhecimento por parte do Homem de cada vez mais fenómenos e variáveis que os influenciam leva-o a mais do que tentar modelar um comportamento, conseguir apurar de que forma a variação mais ou menos previsível das variáveis actuantes condiciona esse mesmo fenómeno. Neste sentido, desde há cerca de 2 décadas que investigadores desenvolvem modelos mecanísticos de crescimento florestal. Os modelos híbridos de base fisiológica conferem um aperfeiçoamento ao nível da representação dos processos biológicos nos modelos empíricos, permitindo estimativas de produção mais precisas dada a sua sensibilidade às variações temporais das condições de crescimento. Estes são constituídos por sub-modelos que simulam os processos fisiológicos de base ao crescimento vegetal como a absorção e conversão de radiação solar, fotossíntese, distribuição de fotoassimilados e até mesmo os processos de degenerescência. Os processos fisiológicos são directamente dependentes de variáveis ambientais, físicas e climáticas pelo que a configuração deste tipo de variáveis como parâmetros dos modelos permite-nos prever e avaliar de que forma as alterações ambientais em sentido lato, influenciam o fenómeno em estudo.

Estes modelos têm sido até hoje essencialmente ferramentas de investigação, requerendo tradicionalmente um grande número de parâmetros iniciais difíceis de obter, o que torna a sua aplicação pouco prática. Têm por isso de sofrer ainda um processo de simplificação até poderem constituir uma ferramenta prática e útil aos gestores florestais (Landsberg 1997).

Os modelos fisiológicos têm como mais valia a possibilidade de prever as consequências no crescimento florestal devido a alterações climáticas, estimar o potencial produtivo de locais nunca arborizados, simular o crescimento de povoamentos para os quais não existem medições e prever os efeitos de práticas de gestão, pragas e/ou doenças, sendo um instrumento imprescindível para uma gestão florestal cada vez mais exigente.

O cálculo do crescimento de povoamentos florestais a partir de processos fisiológicos é um processo complexo, que necessariamente requer o uso de grandes volumes de informação, modelos de análise multi-variada e uma parametrização cuidada para produzirem resultados fidedignos. Tem sido já feito algum esforço de simplificação destes modelos ao ponto de alguns modelos poderem já ser corridos apenas com dados do índice de área foliar e do clima.

No entanto muitos destes modelos continuam a oferecer como resultados apenas informação sobre o carbono fixado e a produção de biomassa, o que é de pouco interesse prático para o gestor.

Para se tornarem ferramentas úteis, os modelos de processos fisiológicos terão de ser combinados com estimativas de modelos empíricos oriundas de experiências e medições feitas a longo prazo (Landsberg 1997).

O 3PG foi desenvolvido através desta abordagem. Requer apenas ligeiros ajustes para produzir estimativas realistas do crescimento de um povoamento.

No presente trabalho é apresentada a aplicação de um modelo híbrido constituído pelo modelo de base fisiológica 3PG já ajustado para Portugal e o Globulus 2.1, um modelo empírico de crescimento de eucalipto desenvolvido especificamente para Portugal. (Tomé *et al.*, 2004)

O 3PG é um modelo de base fisiológica amplamente difundido e aplicado a várias regiões do mundo. Como principais vantagens em relação a outros modelos do género, o 3PG requer um pequeno número de parâmetros e variáveis iniciais de fácil obtenção, está disponível via WEB e está amplamente documentado. Além destes aspectos pode ser usado através de um interface user-friendly o 3PG_{PJS} 2.3 também disponível online.

Com este trabalho pretende-se estudar o comportamento do modelo híbrido 3PG-Globulus 2.1 para a área de estudo de modo a servir o âmbito mais alargado do projecto, designadamente a monitorização do crescimento de povoamentos de espécies de rápido crescimento, estudar a variação de variáveis como o crescimento em volume, biomassa e captação de carbono sob diferentes cenários de alterações climáticas.

Métodos

Área de Estudo

A área de estudo do projecto incide em duas bacias, cada uma delas com uma área inferior a 1km², situando-se nas imediações uma da outra. Estão localizadas no concelho de Águeda e Distrito de Aveiro, a cerca de 10/15Km a este daquela localidade, inserindo-se na bacia hidrográfica do Rio Águeda e pertencendo à formação montanhosa da Serra do Caramulo. Em termos de NUT's insere-se na Região do Baixo Vouga (NUTIII), Região Centro (NUT II) e na Região Agrária da Beira Litoral. Cartograficamente a área de estudo está representada nas Cartas Militares do Serviço Cartográfico do Exército números 186 e 187, à escala 1:25000.

O uso actual do solo na área de estudo é totalmente florestal e bastante homogéneo, uma vez que apenas se registam povoamentos de Pinheiro Bravo (13.6ha) e Eucalipto (64.8ha).

Na bacia de Sernadinha foi identificado o estrato de “Eucalipto Puro” na totalidade da área e na bacia de Serra de Cima cerca de 73% da área com o estrato “Eucalipto Puro” e 27% com o estrato “Pinheiro Puro”.

Recolha de Dados

Afim de obter informação de base sobre os povoamentos florestais da área de estudo, realizou-se o inventário florestal da área de estudo segundo um método de amostragem sistemático.

A escolha do tipo de amostragem teve por base as características da área a inventariar, como sejam a área total, o tipo e homogeneidade da ocupação do solo, o grau de conhecimento prévio da área, entre outros. A área de estudo por um lado tem uma superfície total relativamente reduzida – 78.5ha - e o uso actual do solo bastante homogéneo, sendo este um factor determinante para que a amostragem sistemática não conduza a estimativas erróneas dos parâmetros da população. Por outro lado a amostragem sistemática viria a providenciar

um conhecimento mais profundo da área inicialmente pouco conhecida. Entre os vários processos de aplicação da amostragem sistemática, optou-se por unidades de amostragem dispostas segundo uma grelha quadrangular de 100m*100m, considerado o mais indicado para áreas pequenas em que se pretende realizar um inventário intensivo. Determinou-se como ajustada uma proporção de 1 parcela por ha, resultando 81 parcelas de amostragem. Este método além de bem adaptado para uma área deste género apresenta ainda vantagens ao nível da simplicidade de localização das parcelas, progressão no terreno e menores custos de realização.

Optou-se pela instalação de parcelas circulares de 500m² devido ao facto de esta forma minimizar geometricamente o perímetro face à área, pelo que conduz a menos situações de árvores no limite do perímetro da parcela em que a equipa de campo tem de decidir sobre a sua inclusão ou não.

Foram definidas casualmente parcelas permanentes em 10% das parcelas de inventário, que serão monitorizadas ao longo de todo o projecto permitindo obter informações mais rigorosas sobre a área, não só porque a sua permanência conduz a uma monitorização efectiva da evolução dos parâmetros dendrométricos, mas também por serem parcelas de maior dimensão – 1000m².

Parametrização do Modelo

Após o inventário florestal foram determinados os parâmetros caracterizadores dos povoamentos através do modelo empírico Globulus 2.1 e realizadas as projecções do volume actual. A seguir o modelo fisiológico 3PG foi parametrizado com as variáveis de estado, clima e dos povoamentos e corridas igualmente as simulações do volume actual.

O 3PG é um modelo bastante flexível podendo ser corrido em vários modos distintos dependendo do tipo de informação disponível sobre os povoamentos. Uma primeira distinção é a possibilidade de projecção simultânea de vários povoamentos de características diferentes – Multi Site Run - versus a projecção individual de cada povoamento – Single Site Run.

O 3PG permite também que um povoamento possa ser projectado apenas com informação relativa ao momento da plantação, sendo neste caso a massa da planta o input em termos de biomassa ou que a dado ponto do seu desenvolvimento seja projectado com informação dendrométrica obtida do inventário florestal, o que neste caso confere ao modelo bastante informação sobre a forma como o crescimento se está a processar.

Simulações do Crescimento e Tratamento de Dados

Tendo em conta a informação disponível o 3PG foi corrido em quatro modos diferentes:

- Multi Site Run 1 - inicializado com biomassa da planta,
- Multi Site Run 3 - inicializado com dados do inventário florestal,
- Single Site 4 - inicializado com dados do inventário florestal,
- Single Site 5 - inicializado com biomassa da planta,

Relativamente à calibração para Portugal do 3PG considerou-se o parâmetro *canopy quantum efficiency* (cqe) com um valor invulgarmente baixo tendo em conta outros estudos realizados e publicados. Desta forma optou-se por experimentar correr o modelo dos quatro modos já descritos com a calibração standard estabelecida para Portugal (cqe=0.046) e introduzindo uma alteração ao nível do parâmetro cqe passando se 0.046 para 0.06, um valor comumente apresentado para o eucalipto, e seguidamente confrontar os resultados.

As estimativas de ambos os modelos foram comparadas, tendo sido feito um teste de análise de variância (ANOVA) dos volumes médios estimados por hectare e por povoamento. Posteriormente foi feito um teste de Tukey às médias das projecções sendo o valor de referência as previsões feitas com o Globulus 2.1 uma vez que é o modelo de referência para o crescimento do Eucalipto em Portugal

Resultados e Discussão

Dependendo da forma de inicialização do modelo e do modo de simulação, ambos os modelos originaram projecções semelhantes, sem diferenças estatísticas significativas, com excepção das projecções para Sernadinha com a calibração standard. Os resultados das projecções e testes estatísticos realizados são apresentados seguidamente.

Serra de Cima

O quadro seguinte mostra os resultados do teste de ANOVA às projecções de volume médio por hectare para a bacia de Serra de Cima, comparando os valores do modelo empírico Globulus 2.1 com os do modelo híbrido 3PG-Globulus 2.1. Como se verifica, a alteração do parâmetro *canopy quantum efficiency* de 0.046 para 0.06 conduz a um melhor ajuste dos resultados obtidos com o 3PG à estimativas do modelo Globulus 2.1.

Quadro 1 – Teste de Anova às projecções de volume médio por hectare para Serra de Cima

Modelo	DF	MSE	F	P
Standard	4	10101.25	1.06	0.3793
Cqe=0.06	4	393.21	0.04	0.9976

Calibração Standard

O quadro abaixo mostra os valores das projecções de volume médio por hectare das várias simulações feitas com 3PG e o respectivo desvio percentual às projecções do modelo de referência Globulus 2.1. É notório o melhor ajuste das simulações de 3PG inicializadas com dados de biomassa do povoamento – Multi Site 3 e Single Site 4 – em comparação com os valores gerados pelas simulações inicializadas com biomassa da planta.

Quadro 2 – Projecções de volume médio por hectare segundo calibração standard

Tratamento	Volume Médio	Desvio da Projecção (%)
Globulus 2.1	128.56	-
MultiSite 3	122.69	5
SingleSite 4	120.52	6
MultiSite 1	88.39	31
SingleSite 5	88.26	31

Calibração Standard com cqe=0.06

O quadro 3 apresenta os valores das projecções de volume médio por hectare das várias simulações feitas com 3PG e o respectivo desvio às projecções do modelo de referência Globulus 2.1. Como se verifica, a alteração do valor do parâmetro cqe de 0.046 para 0.06

produz uma aproximação importante dos valores das simulações de 3PG à projecção do Globulus 2.1 para as simulações inicializadas com biomassa de planta, eliminando todo o desvio que se verifica com o parâmetro $cqe=0.046$. Por outro lado as simulações de 3PG inicializadas com biomassa do povoamento mostram-se insensíveis à alteração do valor de cqe , não havendo qualquer variação do valor das simulações.

Quadro 3 – Projecções de volume médio por hectare segundo calibração standard com $cqe=0.06$

Tratamento	Volume Médio	Desvio da Projecção (%)
MultiSite 1	128.59	0
Globulus 2.1	128.56	-
SingleSite 5	128.53	0
MultiSite 3	122.69	5
SingleSite 4	120.52	6

Sernadinha

O quadro 4 mostra o resultado do teste de ANOVA às projecções de volume médio por hectare para a bacia de Sernadinha, comparando os valores do modelo empírico Globulus 2.1 com os do modelo híbrido 3PG-Globulus 2.1. Verifica-se um desvio importante dos valores das simulações efectuadas com a calibração standard do 3PG, evidenciando diferenças estatísticas significativas entre as médias comparadas.

Quadro 4 - Teste de Anova às projecções de volume médio por hectare para Sernadinha

Modelo	DF	MSE	F	P
Standard	4	22697.51	3.12	0.0175
$Cqe=0.06$	4	890.62	0.11	0.9785

Calibração Standard com Teste de Médias de Tukey

No seguimento do resultado do teste de ANOVA às simulações para Sernadinha, efectuou-se um teste de médias de Tukey. Tal como em Serra de Cima no que toca às simulações do 3PG inicializadas com biomassa de planta, também em Sernadinha, segundo a calibração standard estas apresentam maiores desvios à projecção do Globulus 2.1. No entanto, neste caso os desvios destas projecções – Multi Site 1 e Single Site 5 – apresentam diferenças estatísticas significativas.

As simulações em Multi Site 3 e Single Site 4 apesar de estatisticamente idênticas, mostram também desvios ligeiramente superiores aos verificados para Serra de Cima.

Quadro 5 - Projecções de volume médio por hectare segundo calibração standard

Tratamento	Volume Médio	Desvio da Projecção (%)	Tukey
Globulus 2.1	170.23	-	A
MultiSite 3	162.93	4	A
SingleSite 4	154.98	9	AB
MultiSite 1	108.73	36	B
SingleSite 5	108.45	36	B

Calibração Standard com $cqe=0.06$

No quadro seguinte são apresentados os valores das projecções de volume médio por hectare das várias simulações feitas com 3PG e o respectivo desvio às projecções do modelo de referência Globulus 2.1. Neste caso a alteração do valor de cqe também conduziu a uma melhoria significativa das simulações com base em biomassa de planta e à semelhança de Serra de Cima as projecções com base em biomassa do povoamento mantiveram-se inalteradas, mostrando-se mais uma vez insensíveis à variação introduzida no parâmetro cqe .

Quadro 6 - Projecções de volume médio por hectare segundo calibração standard com $cqe=0.06$

Tratamento	Volume Médio	Desvio da Projecção (%)
Globulus 2.1	170.23	-
MultiSite 1	167.49	2
SingleSite 5	167.26	2
MultiSite 3	162.93	4
SingleSite 4	154.98	9

Conclusões

Aplicando a calibração standard, os modos de simulação inicializados com dados dos povoamentos mostram um melhor ajuste do que os modos inicializados com biomassa da planta, o que está de acordo com as conclusões apresentadas pela bibliografia de referência.

Aumentado o parâmetro *canopy quantum efficiency* de 0.046 para 0.06 os modos de simulação inicializados com biomassa de planta mostram por sua vez um melhor ajuste de projecções ao Globulus 2.1, ao passo que os modos de simulação inicializados com biomassa de povoamentos já adultos mantém o mesmo valor.

Os modos de projecção do 3PG inicializados com biomassa do povoamento assemelham-se bastante robustos e menos sensíveis a parâmetros fisiológicos.

O modelo 3PG-Globulus 2.1 evidencia uma boa capacidade preditiva em termos globais. No entanto, apesar dos bons resultados estatísticos deve ser dada atenção às diferenças ao nível da produção de biomassa (em volume), especialmente no caso de grandes áreas de povoamentos industriais dada a importância do factor de viabilização económica subjacente, de produção de biomassa e portanto de captura de CO_2 .

Este estudo pretende ainda incidir sobre a capacidade preditiva do modelo em termos de biomassa e carbono, e testar o seu comportamento sob cenários de alteração climática.

Referências Bibliográficas

- Coelho C., Ferreira A., Boulet A. Keizer J., 2001. Impacto das mudanças nos usos do solo e da variabilidade da precipitação sobre a resposta hidrológica de pequenas bacias hidrográficas florestadas. VII Conf. Nac. Sobre a Qualidade do Ambiente, Aveiro, 18-20Abril.
- Landsberg J.J., Waring R.H., 1997. A generalized model of forest productivity using simplified concepts of radiation-use efficiency, carbon balance and partitioning. *Forest Ecology and Management* 95, 209-228.

- Landsberg J.J., Waring R.H., Coops N.C., 2003. Performance of the forest productivity model 3PG applied to a wide range of forest types. *Forest Ecology and Management* 172, 199-214.
- Parry, M.(ed) 2000. Assessment of potential effects and adaptations for climate change in Europe. The Europe Acacia Project, University of East Anglia, Norwich, 320pp.
- Reed D., Tomé M., 1998. Total aboveground biomass and net dry matter accumulation by plant component in young *Eucalyptus globulus* in response to irrigation. *Forest Ecology and Management* 103, 21-32.
- Sands P. 2003. 3PGPJS – a User-Friendly Interface to 3PG, the Landsberg and Waring Model of Forest Productivity. Technical Report No.29, Edition 2.3. Cooperative Research Centre for Sustainable Production Forestry and CSIRO Forestry and Forest Products.
- Tomé J., Tomé M., Fontes L., Soares P., Pacheco C., Araújo C. 2004. Testing 3PG with irrigated and fertilized plots established in *Eucalyptus globulus* plantations in Portugal. Proceedings of the International Conference on Modelling Forest Production, April 2004, Austria.
- Tomé M., Ribeiro F., Soares P. 2001. O Modelo Globulus 2.1. Relatórios Técnicos-Científicos do GIMREF nº1/2001. Departamento de Engenharia Florestal, Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa.
- Tomé M., Soares P., B. Fidalgo, 2002 - Protocolo de Medição das Parcelas de Inventário das Áreas de Demonstração da Associação Florestal do Vale do Sousa. Projecto AGRO. 14p